

УДК 621.9

Ю.Г. Кабалдин, И.Л. Лаптев, А.В. Хрипунов

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА ИЗ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА НА НАДЕЖНОСТЬ ЕГО РАБОТЫ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приведены результаты производственных экспериментов по точению закаленной стали 20ХГНМ пластинами с кубическим нитридом бора трех различных способов изготовления. Показано, что способ крепления уголка из кубического нитрида бора влияет на картину изнашивания.

Ключевые слова: закаленная сталь, кубический нитрид бора, способ крепления, надежность работы пластины.

Одним из важнейших способов получения деталей является обработка металлов резанием. Разработки ведущих станкостроительных и инструментальных фирм, представляемые в последнее время на крупнейших мировых выставках: ЕМО (г. Ганновер), IMTS (г. Чикаго), «Металлообработка» (г. Москва) – свидетельствуют о наличии трех основных тенденций, это:

- 1) высокоскоростная обработка (*HSC – High Speed Cutting*);
- 2) «сухое резание» – обработка без СОТС (*Dry machining*);
- 3) «твердая обработка» – обработка закаленных материалов – из группы *H (Hard machining)*.

Эти тенденции обусловлены стремлением подняться на новую ступень развития металлообработки в целом и решением ряда задач экономии ресурсов в различных отраслях промышленности. Основными критериями при разработке технологических процессов для современного машиностроения являются:

- надежность;
- производительность;
- экономическая эффективность;
- гибкость.

Следует отметить, что надежность в значительной степени определяет производительность и экономическую эффективность режущего инструмента, в частности, недостаточная надежность инструмента снижает его экономическую эффективность.

Современные производители инструмента все чаще в последнее время представляют на рынке разнообразный инструмент из кубического нитрида бора (*CBN-Cubic Boron Nitride*) для обработки материалов из группы *H*. Варианты исполнения и технологии изготовления пластин, покрытия, составы субстрата *CBN* различны и зачастую рекламируются фирмами как наилучшее решение в данном сегменте механообработки. Также неоднозначны рекомендуемые режимы резания. Для расчета затрат на инструмент данных каталога явно недостаточно, так как величина стойкости, как правило, не оговаривается. Зависимость периода стойкости от режимов резания также можно определить только опытным путем.

Таким образом, как показывает практика, к вопросу выбора той или иной конструкции пластины следует подходить крайне ответственно, так как просчеты на данном этапе могут повлечь за собой существенные финансовые затраты в дальнейшем.

Задачей работы является исследование надежности процесса работы *CBN*-пластинами различных способов изготовления. Для этого были проведены:

- производственные испытания;
- математическая обработка результатов эксперимента;

- анализ полученных результатов.

Варианты и технологии изготовления пластин, режимы их эксплуатации у разных фирм-производителей могут существенно различаться [4, 5, 7–10]. Определение наиболее рационального способа изготовления пластин для твердого точения позволит выбрать инструмент с наиболее предсказуемым периодом стойкости и надежностью работы.

Проведение производственных испытаний

Эксперимент проводился на производственной площадке ОАО «ГАЗ» (г. Нижний Новгород) в ПААГ ЗАТМ («Производство автомобильных агрегатов Завода автомобильных трансмиссий и моторов»).

На станке фирмы «Boehringер» мод. NG-200 велась обработка ведомой шестерни из стали 20ХГНМ ГОСТ 4543-71, после химико-термической обработки, твердость HRC 58-60 единиц. Эскиз детали приведен на рис. 1.

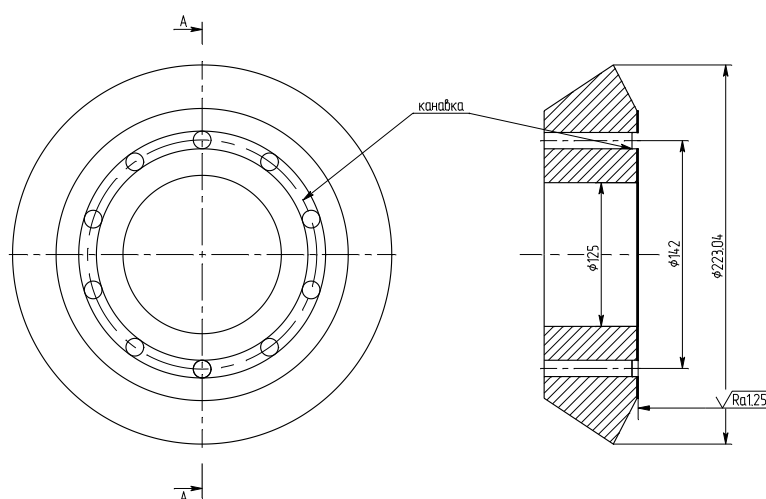
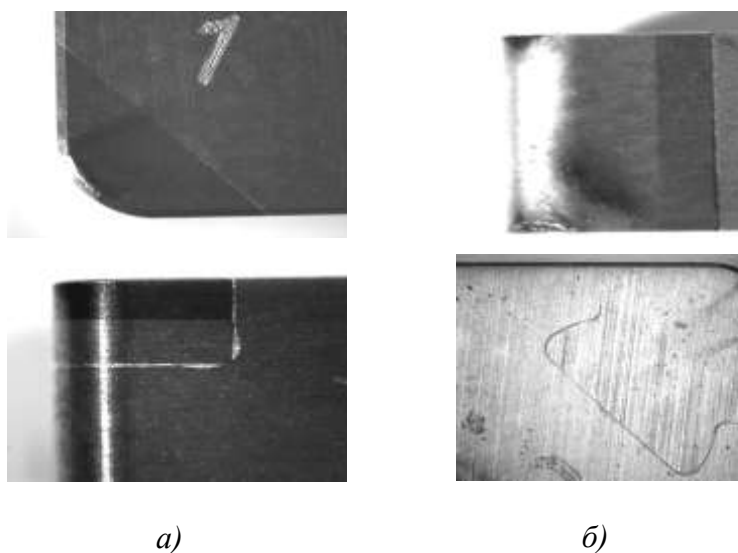


Рис. 1. Эскиз детали



а)

б)

Рис. 2. Внешние различия между креплением СВН типа «шлифование + пайка» (а) и «ласточкин хвост» (б)

В ходе исследования влияния способа изготовления пластины на надежность процесса резания испытывалось по четыре пластины трех видов:

- 1) SNGA 120412 T01020 (ТИП 1) – двухсторонняя, восемь режущих кромок, способ изготовления CBN уголка – «ласточкин хвост», с покрытием TiN;
- 2) SNMA 120412 T01020 (ТИП 2) – односторонняя, одна режущая кромка, шлифование и пайка в ТВЧ, без покрытия ;
- 3) SNGA 120412 S-DL (ТИП 3) – односторонняя, четыре режущие кромки, эрозия проволокой и пайка в вакууме, без покрытия,

Внешние различия способа крепления типа «ласточкин хвост» и «шлифование + пайка» приведены на рис. 2.

Режимы резания для каждой однородной партии были неизменными: скорость $V_c=130$ м/мин, подача $f = 0,22$ мм/об и глубина резания $a_p = 0,2$ мм. Критерий замены режущей вершины – снижение качества обработки детали – превышение Ra 1,25 мкм. Измерение шероховатости обработанной поверхности деталей производилось прибором "СЕЙТРОНИК ПШ8-3 С.С.". Блок-схема эксперимента приведена на рис. 3.

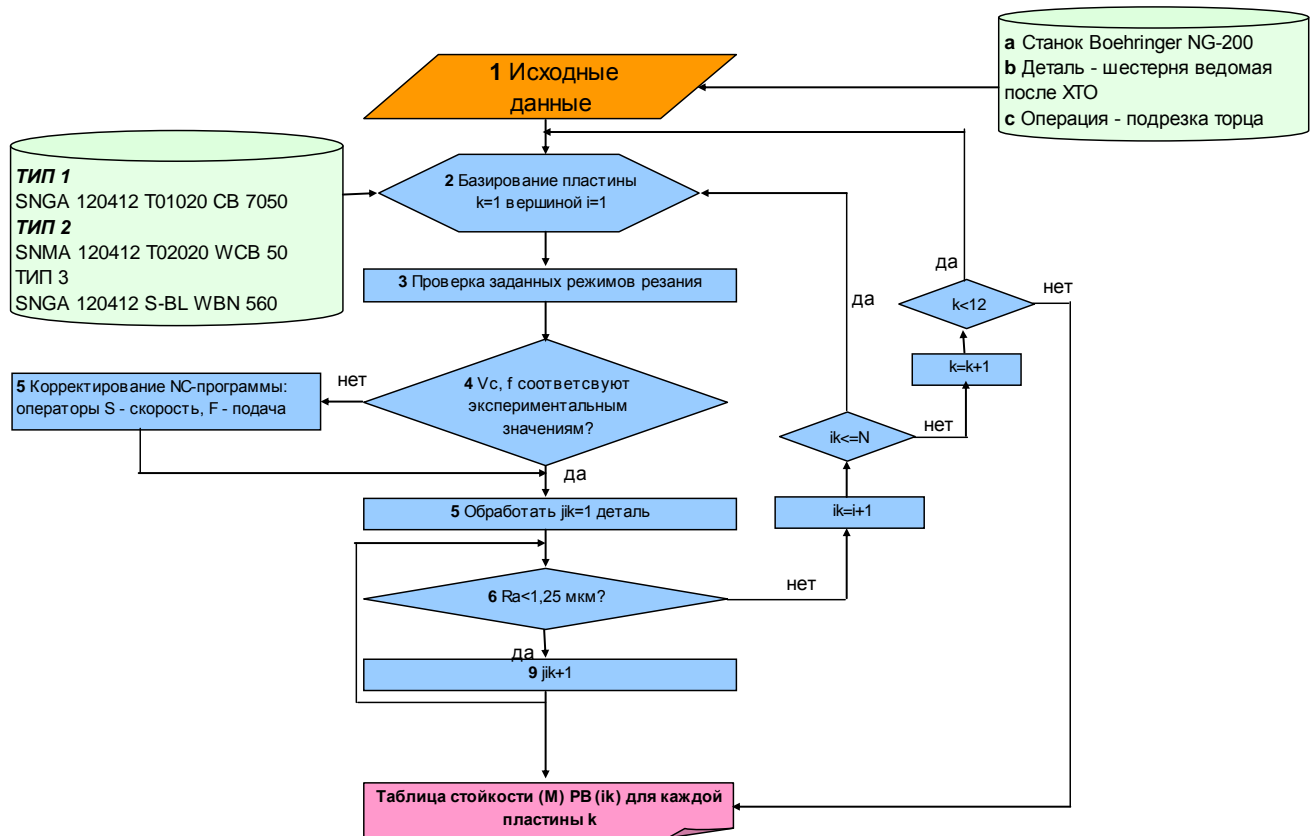


Рис. 3. Блок-схема эксперимента

Данный эксперимент позволил получить данные по стойкости пластин различной технологии изготовления.

Математическая обработка результатов эксперимента

Для оценки надежности работы инструмента различного способа изготовления использовано распределение Вейбулла [1]. С помощью математического аппарата MathCAD были получены данные, необходимые для построения графиков плотности, функции распределения и функции риска (табл. 1).

В результате получены графики надежности, плотности распределения и функции риска для пластин разного способа изготовления (рис. 4–6).

Таблица 1

Величины параметров, описывающих надежность процесса

| № п/п | Наименование параметра | Обозначение | Выборка значений стойкости пластин | | |
|-------|--|--------------------------|------------------------------------|-------------------|------------------|
| | | | ТИП 1 | ТИП 2 | ТИП 3 |
| 1 | Выборочное среднее арифметическое значение | X_{cp}, Y_{cp}, Z_{cp} | $X_{cp} = 39.418$ | $Y_{cp} = 46.906$ | $Z_{cp} = 84.76$ |
| 2 | Выборочное среднее квадратичное значение | S, S_1, S_2 | $S = 12.027$ | $S_1 = 9.638$ | $S_2 = 16.684$ |
| 3 | Значение отношения V_b | V_b, V_{b1}, V_{b2} | $V_b = 0.305$ | $V_{b1} = 0.205$ | $V_{b2} = 0.197$ |
| 4 | Коэффициент параметра формы K_b | K_b, K_{b1}, K_{b2} | $K_b := 0.5$ | $K_{b1} := 0.89$ | $K_{b2} := 0.89$ |
| 5 | Параметр формы b | b, b_1, b_2 | $b := 3.6$ | $b_1 := 2.9$ | $b_2 := 2.9$ |
| 6 | Уточненный параметр формы $b_{корр}$ | b_{d2}, b_{k3}, b_{l4} | $bd2 = 4.039$ | $bk3 = 5.495$ | $bl4 = 7.693$ |
| 6 | Нижняя доверительная граница b | b_b, b_{h1}, b_{h2} | $bdh = 3.062$ | $bdh1 = 3.58$ | $bdh2 = 2.768$ |
| 7 | Верхняя доверительная граница b | b_v, b_{v1}, b_{v2} | $bdv = 4.902$ | $bdv1 = 7.091$ | $bdv2 = 11.264$ |
| 8 | Параметр масштаба a | a, a_1, a_2 | $a = 43.797$ | $a_1 = 52.645$ | $a_2 = 95.023$ |
| | Уточненный параметр масштаба $a_{корр}$ | a_{d1}, a_{d2}, a_{d3} | $ad1 = 43.608$ | $ad2 = 47.445$ | $ad3 = 49.216$ |
| 9 | Нижняя доверительная граница a_h | a_h, a_{h1}, a_{h2} | $ah = 40.256$ | $ah1 = 43.477$ | $ah2 = 42.62$ |
| 10 | Верхняя доверительная граница a_v | a_v, a_{v1}, a_{v2} | $av = 47.273$ | $av1 = 51.861$ | $av2 = 57.877$ |

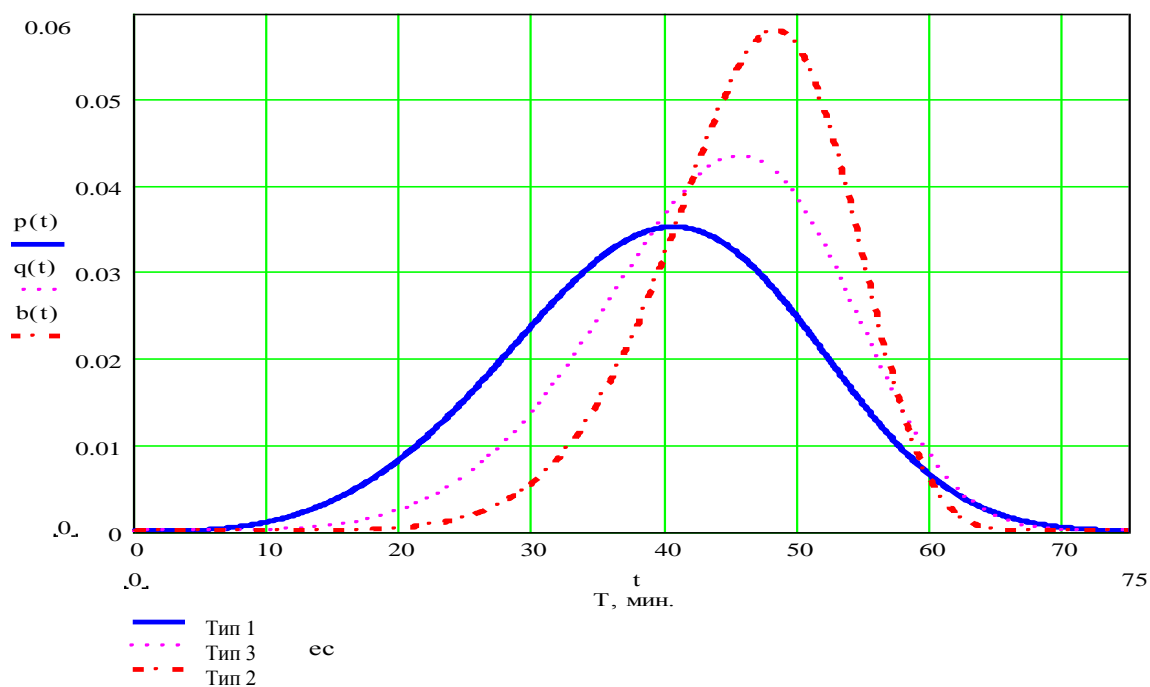


Рис. 4. График плотности распределения стойкости пластин

Для закона Вейбулла-Гнеденко плотность распределения, или дифференциальная функция распределения стойкости, для выборок N , N_1 и N_2 описывается следующими уравнениями:

$$p(t) = \frac{bd2}{ad1} \cdot \left(\frac{t}{ad1}\right)^{bd2-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{ad1}\right)^{bd2}},$$

$$b(t) = \frac{bl4}{ad3} \cdot \left(\frac{t}{ad3}\right)^{bl4-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{ad3}\right)^{bl4}}$$

Из рис. 4 видно, что среднее значение периода стойкости из всех пластин выше у пластин с твердосплавной подложкой – *ТИП 2*, также ниже вероятность разброса значений стойкости. Плотнее относительно среднего значения лежат результаты измерений стойкости пластин *ТИПА 2*, затем *ТИП 3* и в конце *ТИП 1*. График вероятности безотказной работы пластин различного способа изготовления представлен на рис. 5.

Вероятность безотказной работы, или интегральная функция распределения стойкости, для выборок N , N_1 и N_2 описывается следующими уравнениями:

$$P(t) = e^{-\left(\frac{t}{ad1}\right)^{bd2}},$$

$$Q(t) = e^{-\left(\frac{t}{ad2}\right)^{bk3}},$$

$$B(t) = e^{-\left(\frac{t}{ad3}\right)^{bl4}}$$

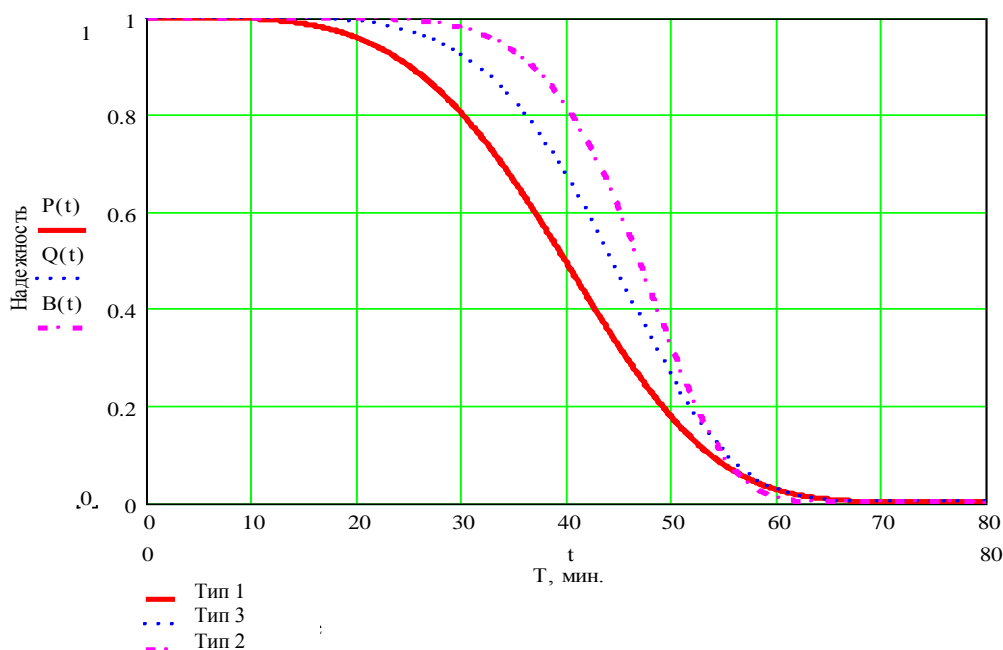


Рис. 5. График вероятности безотказной работы пластин

По приведенному графику время безотказной работы пластин со 100%-ной надежностью соответственно равно: *ТИП 1* – 12 мин, *ТИП 3* – 18 мин, *ТИП 2* – 25 мин. Менее пологая зависимость интегральной функции распределения для пластин *ТИП 3*, по сравнению с *ТИП 1* и *ТИП 2*, свидетельствует, что величина разброса значений меньше. На

рис. 6 показана функция риска, которая описывает вероятность отказа в течение малого промежутка времени при условии, что до этого момента отказа не произошло.

На основе распределения Вейбулла функция риска имеет следующий вид:

$$h(t) = \frac{P(t)}{p(t)} = \frac{c \cdot (X - a)^{c-1}}{b^c}.$$

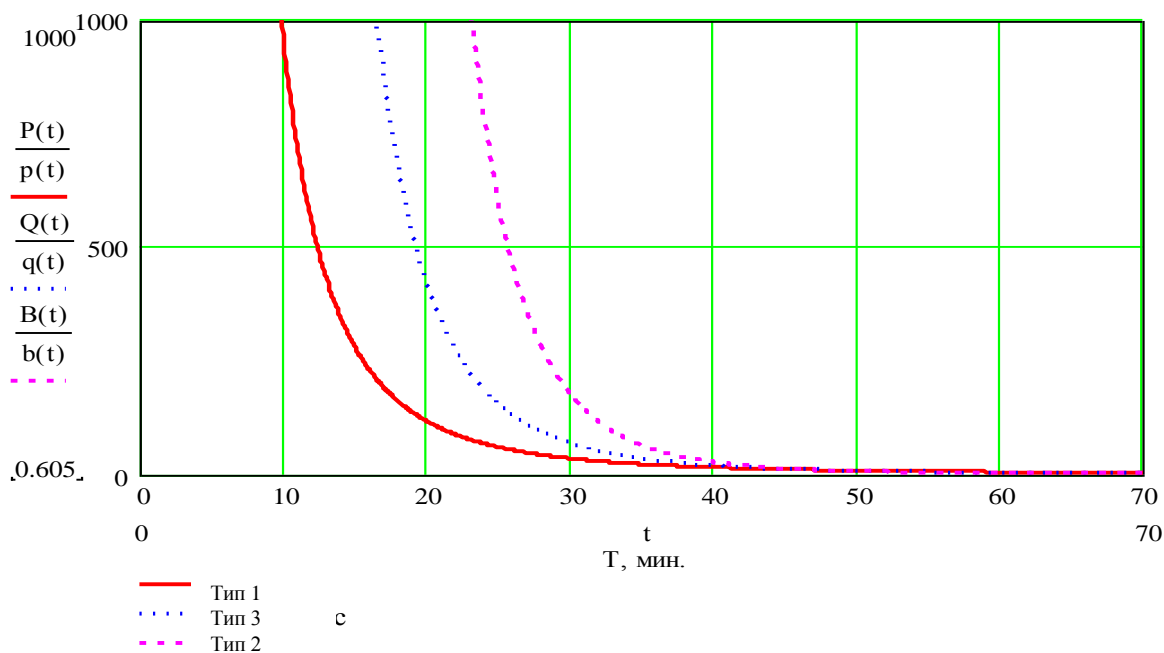


Рис. 6. Функция риска

То есть наименьшие риски прогнозируются при использовании пластин с твердосплавной подложкой *ТИП 2* и *ТИП 3*.

Выводы

В результате анализа результатов производственных экспериментов были получены следующие выводы:

1) наиболее приемлемым вариантом изготовления пластин, с точки зрения надежности процесса твердого точения и высокой стойкости, является вариант шлифования гнезда под пластину и впайки *CBN* уголка через твердосплавную подложку;

2) столбик кубического нитрида бора при вершине высотой пластины чаще выкрашивается по всей ее высоте, так как материал хрупкий и его разрушению не *препятствует* твердосплавная подложка. Вероятно, подложка является демпфером, ограничивающим разрушение пластины по всей ее толщине;

3) для двух различных вариантов изготовления пластин из аналогичных по процентному содержанию *CBN* сплавов процесс изнашивания отличается.

Следовательно, способ изготовления влияет на картину изнашивания.

Библиографический список

- ГОСТ 11.007-75. Правила определение оценок и доверительных границ для параметров распределения Вейбулла. М.: Изд-во стандартов, 1976. – 30 с.
- Грановский, Г.И.** Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.
- Лоладзе, Т.Н.** Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т.Н. Лоладзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.

4. **Кабалдин, Ю.Г.** Структура, прочность и износостойкость композиционных инструментальных материалов / Ю.Г. Кабалдин. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 183 с.
5. **Кабалдин, Ю.Г.** Влияние способа изготовления инструмента из наноструктурного кубического нитрида бора (CBN) на надежность его работы / Ю.Г. Кабалдин, И.Л. Лаптев, А.В. Хрипунов // Вестник Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Вып. XI. Синергетика. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2008. С. 122–130.
6. **Кабалдин, Ю.Г.** Влияние геометрических параметров CBN-пластин на износ при изменяющихся условиях обработки / Ю.Г. Кабалдин, И.Л. Лаптев, А.В. Хрипунов // Вестник Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Вып. XI. Синергетика. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2008. – С. 130–140.
7. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение: справочник / В.П. Жедь [и др.]. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
8. **Ящерицын, П.Н.** Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах / П.Н. Ящерицын, М.Л. Еременко, Е.Э. Фельдштейн. – Минск: Высш. шк., 1990. – 512 с.
9. **Carius, A.** PCBN turns the hard stuff // Cutting tool engineering. June 1995. Volume 47. N. 9.
10. **Jochmann, S.** Untersuchungen zur Prozess- und Werkzeugauslegung beim Hochpräzisionshartdrehen / S. Jochmann. - Aachen, Shaker Verlag, 2001.
11. H.K. Tönshoff, C. Arendt, R. Ben Amor: Cutting of hardened steel/ Keynote papers Institute of production Engineering and Machine tools, University of Hannover, Germany. 2004. Pp. 547–580.
12. Chou, Y.K. and Barash, M.M.: Review on hard turning and CBN cutting tools, 1st Int'l Machining and Grinding Conference (Dearborn, MI: Society of Mfg. Engineers). 1995. Pp. 949–962.
13. **Хрипунов, А.В.** Исследование влияние изнашивания режущего инструмента из кубического нитрида бора на процесс твердого точения закаленных сталей / Будущее технической науки: материалы Международной молодежной научно-технической конференции. НГТУ. – Нижний Новгород. 2007. – С. 116–117.

*Дата поступления
в редакцию 15.10.2010*

Y.G. Kabaldin, I.L. Laptev, A.V. Khripunov

THE INFLUENCE OF MANUFACTURING METHOD FOR CUBIC BORON NITRIDE TOOL'S ON ITS WORK RELIABILITY

It is article contain experimental results of hard machining hardness steel 21NiCrMo2 by three different manufacturing method cubic boron nitride inserts. It is shown that method of corner fastening influence of tool wearing.

Key words: hardness steel, cubic boron nitride, method of corner fastening, insert work reliability.